JAXA's

[ジャクサス] *November 2012*

宇宙航空研究開発機構機関誌

No.047

特集

進化を続ける日の丸宇宙船

第一期水循環観測衛星「しずく」初期観測スタート

北極で何が起こっているのか

星出宇宙飛行士奮闘記

低騒音、低公害、地球環境に優しい航空機を生み出すために

クリーンエンジン技術の研究

JAXA's No.047
宇宙航空研究開発機構機関誌

CONTENTS

表紙：管制室に勢ぞろいした「こうのとり」のフライトダイレクタ。左から麻生大、田邊宏太、前田真紀、山中浩二、松浦真弓、内山崇 （撮影：田山達之）

INTRODUCTION

9月14日午後2時27分、「こうのとり」3号機が大気圏に再突入しミッションを終えました。技術実証機、2号機との違いは、メインエンジンやスラスタなどの国産化が進んだこと。IHIエアロスペースの開発担当者は、乗り越えなければならない山が3つあったと振り返ります。巻頭特集では、JAXAとメーカーの関係者への取材をもとに、開発ストーリーをご紹介します。9月にはもう1つ記念すべき出来事がありました。毛利衛宇宙飛行士が宇宙での活動を開始した1992年9月12日から、20年目を迎えたのです。現在、国際宇宙ステーションに滞在中の星出宇宙飛行士は、「日本の有人宇宙活動の節目の日に、日本人を代表して国際宇宙ステーションに滞在していることを光栄に思います」とコメント。ビジュアルページ(10～11p)では、宇宙飛行士たちのメッセージを迫力の写真とともに掲載しています。宇宙へ旅立って20年、その間地球では、温暖化による気候変動が問題視されてきました。7月から観測を開始した第一期水循環観測衛星「しずく」が捉えたのは、北極の海氷面積の急激な減少です。観測データをもとに、今地球に何が起こっているのかを国立極地研究所の榎本教授に解説してもらいます。さて、今号表紙にずらりと並んだのは、「こうのとり」の歴代フライトダイレクタ。彼らの指揮の下、チームが一致団結してミッションに当たってきました。ISSへのドッキングの際、管制室を映したライブ映像でガッツポーズをきめる姿をご覧になった方もいることでしょう。来年度の「こうのとり」4号機打ち上げの際は、ぜひ運用チームにも注目して応援をお願いします。

進化を続ける日の丸宇宙船

エンジン国産化とHTV-R構想を聞く

9月14日の大気圏突入で任務を終えた「こうのとり」3号機は、本来のミッションである国際宇宙ステーション（ISS）への物資補給の他にも、いくつかの〝初めての試み〟を成功させている。

中でも最大の成果が、軌道変更・姿勢変更を行うための新型エンジン／スラスタの軌道上実証に成功したことだ。「こうのとり」の底部に取り付けられた4基のメインエンジン「HBT―5」（HTV Bi-propellant Thruster）と、機体をとりまくように28基取り付けられた姿勢制御用スラスタ「HBT―1」はいずれも今回が初フライト。技術実証機と2号機で使われていた米社製に取って替わる国産の新型エンジンが、「こうのとり」の性能をさらなる高みに導いた。

実績あるエンジンを国産に代替

「こうのとり」は宇宙飛行士が滞在するISSにアプローチし、キャプチャーのために相対静止する。ロボットアームで把持され、結合した後はISSと一体となって運用される。与圧室内には宇宙飛行士も出入りすることになるし、分離・離脱の際も含めてISSに危険が及ぶような事態は絶対に避けなければならない。

技術実証機と2号機で使われていた米エアロジェット社のエンジン「R―4D」はアポロ計画の時代に開発されたもの。一方姿勢制御用の「R―1E」はスペースシャトルで使われていた。いずれも長年の実績があり、トラブルも出尽くした、いわば〝枯れた〟エンジンだった。しかしシャトルの退役により供給体制に不安が生じる。また、そのために代替品を用意するなら、同時にコスト削減も追求したい……。

「特に姿勢制御用スラスタのように使用個数が多く、シリーズで運用される機体の場合、コストダウンの効果も大きくなります。また外国製品では、細部にわたる技術情報が得られず〝ブラックボックス〟として扱わざるを得ない部分が残ってしまう。ここも何とかしたかった」（前・HTVプロジェクトチーム・深津敦ファンクションマネージャ）

開発のスタートは2006年。技術実証機のフライトの3年前だ。

「技術実証機から新型エンジンを、という考えもあるかもしれませんが、まずは実績のある部品やユニットを採用し、HTVを安全な輸送システムとして完成させることに力を注ぎました。出来上がったシステムを改良していく中で、国産の部品に置き換えていくという確実な道を選びました。そしてようやく今回の3号機で国産エンジンの搭載が実現したわけです」（深津氏）

松田奈緒己
MATSUDA Naoki
(株)IHIエアロスペース
宇宙技術部液体推進技術室
課長

中井俊一郎
NAKAI Shunichiro
(株)IHIエアロスペース
宇宙技術部宇宙機システム室
室長

深津 敦
FUKATSU Tsutomu
経営企画部推進課長
前・HTVプロジェクトチーム
ファンクションマネージャ

“混ぜるだけの簡単なお仕事”のはずが

「こうのとり」の推進系には非常にポピュラーな2液混合式が採用されている。推進薬（燃料）にはヒドラジンの水素1つをメチル基で置き換えたモノメチルヒドラジン「MMH」が使われ、酸化剤には四酸化二窒素（NTO）に重量比3％の一酸化窒素（NO）を混ぜた「MON3」が使われている。いずれも軌道上で長期保管が可能で、2液を混ぜれば確実に着火する、信頼性が高く実績のある組み合わせだ。

タンクからエンジンに至る配管の構成もオーソドックスなもの。小さなタンク（気蓄器）に圧縮されたヘリウムガスが収められており、その圧力を使って推進薬と酸化剤をタンクから押し出す。逆流防止のための“逆止弁”は、同時に2個が故障してもシステムとして機能を失わないよう、シリアル・パラレル構成で4個を使用。さらに多くのバルブを経て枝分かれする配管が、4つのエンジンと28個のスラスタに届けられ、燃焼室内に2液が噴射される。

「MMHとMON3は、確実な着火が得られる、つまり点火機構が不要で構造がシンプル。混ぜればいいだけなんだから簡単だと思ったのですが、やってみたらノウハウの塊でした」（深津氏）

開発・試作はIHIエアロスペースの富岡事業所（群馬県）で行われ、燃焼試験には同社相生試験場（兵庫県）にある高空燃焼試験設備が使われた。

3つの大きなヤマを乗り込えて

IHIエアロスペースはヒドラジンとMON3を使ったエンジン／スラスタをJAXAや海外の人工衛星にも納めるなど、十分な実績のあるメーカーだ。

「スラスタとはどういうもので、どういう使い方をするとどんな問題が出るか、われわれは十分知っています。しかしあくまでそれは定性的な理解にすぎない。どこまでが大丈夫で、どこから問題を起こすのか。具体的にどこが境界なのかは、実際に作ってみないとはっきりしない部分が大きい」（IHIエアロスペース・宇宙機システム室・中井俊一郎氏）

「反応に関わるのはC、O、H、Nのわずか4元素にすぎませんが、燃焼室内では何十種類もの物質が関わる過渡的現象が起きており、コンピュータシミュレーションで再現するのはまだまだ非常に難しいんです」（同・液体推進技術室・松田奈緒己氏）

エンジンは噴射する燃焼ガスが高温であるほど性能は上がるが、度を越せば材料が高熱に耐えられなくなる。燃焼ガスは最大で約2700度。燃焼室とノズル（ラッパ型の部分）には耐熱性に優れたコロンビウム合金（ニオブ合金）が使われているが、強度と耐久性を維持するためには高くとも約1300℃程度に温度を抑えなければならない。

「冷却には推進薬そのものを使います。未反応の推進薬を内壁に沿って流し吸熱させる“フィルム冷却”という方法です。今回の開発では大きなヤマが3回ありましたが、最初のヤマが燃焼室の異常な温度上昇。ここにはわれわれがこれまで扱ってきたヒドラジンとモノメチルヒドラジンの物性の違いが意外に大きく関わっていたことが、対策を通じ判明しました。次に起こったのが低周波の振動で、その対処にめどが付いたところで、高周波の振動の問題が出ました。いずれも振動が起きてしまうと“フィルム冷却”が破れ、燃焼室の温度が上がってしまう。特に後者の高周波振動は1万回作動しても2～3回起きるかどうかという再現性の低い現象でした」（松田氏）

同じ排気量のエンジンでも、メーカーが違えば特性も違い、運転方法も当然異なる。米社製から国産にエンジンを変えたことで、「こうのとり」にも異なる運用方法が必要となる部分もあった。

「アプローチの際の細かな運用が変わり、NASAの安全審査が改めて必要になる部分もありましたが、審査する側に“日本が持ってくる話なら心配ない”という信頼感があったようです。技術実証機、2号機がパーフェクトな成功を重ねてきているおかげです。『こうのとり』の運用に携わるJAXAの方からも、“複数のエンジン間で性能のばらつきが小さい。熱的にも安定している”と喜んでもらえました」（中井氏）

世界中の人工衛星のエンジンを日本製に

ISSへのアプローチでは、実際に姿勢制御スラスタが噴射している姿がカメラにとらえられた（左上画像）。

「噴いた瞬間、白いもやがパッと見えたんです。見えたのは、姿勢や軌道を微調整するための短時間の燃焼“パルス噴射”の様子でした。これを見るには、夜でも昼間でも難しくて、ちょうど光の加減が良い昼夜の境目でないといけなかった。ラッキーでした」（深津氏）

「こうのとり」のような大きな宇宙船の精密なランデブーには安定したパルス噴射が欠かせない技術である。最短30ミリ秒間という短時間の噴射でも、またそれを連続して行った場合でも確実に性能を出せるようにするには大きな苦労があった。それだけに“見えた”ときの感動はひとしおだったという。

「技術実証機でもそのシーンは見ていましたが、今回はやはり感激が違いました。松田さんと並んで見ていたのですが、彼は意外にクールなんですよ。私は“映ってる、噴いてる！”と興奮していたのに、あまり感動していない様子で」（中井氏）

「いや、全然そんなことなくて、すごく感動していたんですよ。自分の作ったものが動いている場面を見るなんて、人工衛星ではありえなかったことですから。でも、ちゃんと動いて当たり前なので、あまり喜んじゃいけないと思い、冷静を装っていました（笑）」（松田氏）

開発を終えた国産エンジン。次の展開も見えてきた。

「地上試験の通りの性能が宇宙で出てくれて、本当に良かったなと思いました。徹底的に試験し、異常な高温や燃料漏れも経験し、対策を打ってきた。それでも宇宙では想定外のことが起きるものですが、このエンジンに関してはありませんでした。地上で試験した通りに働いてくれた。非常に良いエンジンができたというだけでなく、作るための設計ノウハウも蓄積できたと思っています。当初からの大きな目的であるコストダウンについても、十分な成果が得られました。国際的にみても価格競争力のある水準だと思います。今回の宇宙実証を足がかりに、世界中の人工衛星をみんな日本製にしてやるぞというぐらいの勢いでどんどん世界に売り込んでいってほしいと思います」（深津氏）

新たなエンジンを得た「こうのとり」は、日本発の宇宙技術・新規デバイスのショーケースとして、未来に夢を運ぶ役割も果たしつつあるようだ。

「こうのとり」3号機のRCSスラスタの噴射の様子。精密なランデブーの鍵を握るのが精密なパルス噴射の技術だ。「個人的には月・惑星探査機でもこのエンジンが活躍してほしい」（中井氏）

HTV-Rはどんな未来を運ぶのか

鈴木裕介
SUZUKI Yusuke
宇宙ステーション回収機
研究開発室 室長

HTV技術実証機では、手探りの部分もあり、想定していない異常もありました。異常といっても、スラスタの温度が上がり気味だとかGPS受信機の挙動がちょっと不安定とか、ごくごく小さな兆候です。それを見逃さずトラブルに発展させないよう、運用チームはきちんと対処できた。訓練の賜物だと思います。今回の3号機でも、国産化したスラスタは完璧でした。最後の離脱のところでは、HTV自身が危険を察知し、自動的にISSから遠ざかる「自動アボート機能」まで図らずも飛行実証できた。計算どおり動くものだなと改めて感心しました。3回の連続成功で信頼性は十二分に実証でき、本腰を入れて次世代機の話ができます。

将来を見据え、日本にとって必須となる技術が、軌道上から帰還し物資を回収する技術です。HTVを開発・運用してきたメンバーが散逸する前に次の開発テーマを立ち上げ、技術を継承していくことがとても重要だと考えます。回収機能付加型HTVこと「HTV-R」の研究は、そうした考えのもと進められています。

「HTV-R」は現在のHTVの与圧モジュールを帰還カプセルに置き換えたものを1つの案として考えています。ISSからの離脱後に帰還カプセルは分離され、大気圏の再突入～高精度な揚力飛行制御と定点誘導～パラシュートでの降下～洋上からの機体回収というシナリオです。

カプセルについてはスケールモデルを用いた各種風洞試験やコンピュータシミュレーションを使った解析に着手しており、解析精度を上げるための研究を続けています。また鍵となる熱防護材については複数メーカーから供試体の提供を受け、アーク加熱風洞を使った耐熱試験や、耐熱材のパネルで大面積を覆う際に生じる隙間を埋める“ギャップフィラー”の材料の検討なども行っています。

「こうのとり」3号機に搭載されていたi-Ball（本誌20P参照）で得られたデータを解析し、今後も同種のデータ収集を続けていくことは、再突入の際の誘導制御をより安全に正確に行うことにつながります。また定点誘導の精度が上がれば、回収のための船舶の運航の制約が減り、安全面はもちろんコスト低減にもつながります。

そしてその先に見えてくるのが、有人宇宙船です。

HTVの与圧モジュール置換タイプ（左上画像）の他、帰還カプセルのみをH-ⅡAロケットで打ち上げるという案の検討も始めました。フェアリングは不要で、ISSとの結合部のみを保護カバーで覆います。有人仕様となればこの部分にアボートタワー（緊急脱出ロケット）を取り付けるというものです。現状のHTV-Rは研究段階です。開発に入ってから新たなリスクが顕在化することのないよう、技術的な実現性をしっかり検討し、予算が付けばすぐに走り出せる状態に近づけていこうとしています。日本独自の往還機の実現は、その先に広がる有人宇宙船の構想をさらに引き寄せてくれます。皆さんの理解と支援をお願いしたいと思います。(談)

HTV-Rのイメージ

「内部にはちょうど4畳半ぐらいの空間がとれそうです。ソユーズ宇宙船よりかなり広く、スペースX社のドラゴン宇宙船よりちょっと広い。きっと快適ですよ」（鈴木氏）

北極で何が起こっているのか

2012年7月から観測をスタートさせた第一期水循環観測衛星「しずく」が、グリーンランドの氷床表面の全面融解と北極海海氷の大幅な縮小を捉えました。地球温暖化の影響が現れるとされる北極ですが、その変化は私たちの暮らす日本、そして地球にも大きく関わってきます。北極の雪氷と気候変動を研究している国立極地研究所の榎本教授と、地球観測研究センターで「しずく」のデータ検証を行う堀主任研究員に、北極で今、何が起こっているのか話を聞きました。

氷河が溶け出し、激しい流れとなって海に流れ込んでいる（撮影：杉山 慎）

海氷面積が観測史上最小に

——先生は現在どのような研究をされていますか。

榎本　極域の気候変動の研究です。北極域や南極域の雪や氷の状態を観測し、その変動を気象データと組み合わせて説明するということをしています。

——今、北極の氷はどのような状況なのでしょうか。

榎本　急激な変化が起きています。北極圏は地球全体の中でも特に温暖化などの環境変化の影響を受けやすく、地球の平均気温が上昇するのに伴って、いち早く北極の海氷にも変化が現れました。２０００年代に入ってから減り方が急激に加速し始め、07年に一気に氷が減り、研究者は大変驚いたのです。ところが今年はそれをはるかに上回るスピードで減ってしまい、北極の海氷面積は観測史上最小になった。いったい何が起きたのかまだ分かっていません。より詳しい観測をもとにして変化の仕組みを考えることが必要です。

——グリーンランドの氷床についてはいかがですか。

榎本　北半球の氷河域、グリーンランド氷床のような大きな氷体、さらにはカナダやノルウェーなどの氷河群、それら全部がどんどん溶けている状況です。氷床の溶け方の予測は、ここ2年間で大幅に修正され、海面上昇への影響もこれまで考えられていたより2倍以上になるかもしれないという予想が出てきました。

——それはどうしてなのでしょう。

榎本　氷床が溶けてできた水は川のように表面を流れていきますが、溶けて氷が減ること以外に融解水が氷床の底にも潜っていき、岩と氷の間の潤滑剤として働いて、氷を滑らせてしまい、氷が海に速く流出していく。そういうことが分かってきましたが、今までの計算にはそこが入っていなかったのです。

——岩盤と氷の間に液体の水が入って滑っているといったことは、現地に行って調べないと分かりませんね。

榎本　現地で氷河上に穴を掘り、数百m下の氷と岩が接しているところにセンサを埋め込んで計らないと分かりません。今、私たちは5年間の計画で、北極について調べる研究プロジェクトを進めています。北極を取り巻くグリーンランド、カナダ、アラスカ、ロシア、ノルウェー、フィンランドなど、たくさんの観測地点にセンサを置いています。北極海にはＪＡＭＳＴＥＣの研究観測船「みらい」も入ります。また海外の砕氷船に依頼する観測も実施します。そうやって北極圏の雪と氷にどのような変化が起こり、北極圏の気候変動の中でどう影響していくか調べるわけです。観測現場はさまざまな情報を与えてくれます。私もできる限り現地に出かけ、そこで起きている自然の変化の姿を見る目を維持したいと思います。

“ポータブル”AMSR2も活躍

——人工衛星データはどのように利用されていますか。

榎本　人工衛星からは、北半球全体や地球全体で何が起こっているかを知ることができます。限られた場所で行われる現地観測と広範囲の予想をするモデル計算の間をつなぎ、現地で測ったことがその周辺数百kmの範囲でも起きているということを確認するには、人工衛星データが有効です。今、北極圏の気候変動に関して一番話題になっているのは、北極の海氷の縮小状態です。これの世界的な標準データになっているのが、ＪＡＸＡのＡＭＳＲ-Ｅと、「しずく」に載っているＡＭＳＲ２のデータです。

——ＡＭＳＲ-ＥやＡＭＳＲ２のデータの特長は何ですか。

榎本　マイクロ波放射計のデータはいろいろな周波数を持っていますので、その組み合わせで氷の広がりだけでなく、氷の厚さや表面の水のたまり具合などが分かります。また、マイクロ波は水の存在に非常に敏感です。雪の表面が少しでも水を含むと非常によく反応して、ここが湿っていますよと教えてくれる。極地研究者にとって、雪がいつ溶け始めるかは大事な情報なので重宝しています。高緯度では長い冬期間、日射がなくても光に頼らず観測のできるマイクロ波は、極地観測の強い味方です。それから、気象現象の異常や大きな変化は、ほぼ悪天候の時に起きます。雲の下で何が起きているのかを見るためには、雲を通すマイクロ波のセンサがとても役立ちます。昼夜、季節、天候に関係なく、毎日同じ場所を観察できるマイクロ波は変化の激しい自然の観察に不可欠です。

——極地の研究に「しずく」は威力を発揮しそうですね。

榎本　「しずく」は重要なデータをもたらしてくれます。ただし、私たちが現地で見ている状況が人工衛星でどのように見えているかを知っておくことが大事です。そこで私たち極地研究グループは、ＡＭＳＲ-ＥやＡＭＳＲ２の波長に合わせて作った小型のセンサを現地に持っていきます。それを北極海を航行している砕氷船に付けたり、雪上車やヘリコプターに載せたり、手持ちで湖や森林の観測タワーに運んでいったりして、調べているのです。

——今後「しずく」の観測にどのように期待されますか。

榎本　私たちの北極圏の研究計画は２０１１年から２０１６年までの5年間で、今年から本格的な観測がスタートしました。「しずく」がそれに間に合って本当によかったと思っています。北極というと遠い世界に感じるかもしれませんが、日本も北極の大気の流れの影響を受けています。北極を調べることは、地球全体に広がっている気候システムを理解することにつながるのです。

榎本浩之
ENOMOTO Hiroyuki
国立極地研究所
北極観測センター長 教授

小型マイクロ波放射計

小型マイクロ波放射計は、移動観測、定点観測、計測実験に使用されている

データを蓄積し、将来を予測する

減少する北極海の海水

——「しずく」の状況を聞かせてください。

堀　「しずく」は2012年5月18日に打ち上げられ、7月3日に初画像を取得しました。まだデータの校正検証期間ですが、毎日、全球の観測を継続しています。

——「しずく」のデータで今一番注目されているのは、やはり北極海の海氷でしょうね。

堀　そうですね。NASAのAqua衛星に搭載されていたAMSR-Eが10年近く観測していたのですが、昨年10月に残念ながら観測停止状態になりました。「しずく」のAMSR2のデータは、待ちに待ったものだったのです。7月に観測が始まると、既に北極海の氷に隙間が空いている状態が目立って見えました。いつもに比べて早いのではないかと思っているうちに、どんどん海氷面積が減っていき、8月に入ると過去に前例のないほどのスピードで減り始めました。そしてついに、過去最小の面積になってしまった。

——それが8月25日の発表になったわけですね。それ以降も海氷面積は減り続け……。

堀　結局、9月16日に349万km²を記録しました。これが観測史上、海氷面積の最小記録になりました。

——7月の段階で、氷の隙間が見えていたとのことですが、「しずく」の解像度はどのくらいのものですか。

堀　周波数によって異なりますが、海氷を見るチャンネルで10〜20km前後の分解能になるかと思います。AMSR-Eに比べて2割ほど細かくなっています。

——氷が、いわゆる多年氷という何年も凍っていたものなのか、それともその年にできた薄い一年氷なのかという区別は、「しずく」で分かるものなのでしょうか。

堀　氷の表面が溶けきる前の春の画像だとよく分かります。今年の春はデータがありませんでしたが、昨年までのAMSR-Eの画像で見ると、一年氷と多年氷は電波の出しやすさが異なっていて、古い氷ほど暗く見えます。それを見ると2003年、04年ごろはかなり広い範囲が多年氷で覆われていましたが、観測史上最小面積を記録した07年のころに急激に減りました。その後、多少回復したように見えたのですが、今年の春の状態を他の衛星データで見ると、北極海の半分は薄氷で覆われていました。ですから、注目すべきは夏だけでなく、冬にいかなる状況が進行しているかをちゃんと見ることです。

世界の研究者が「しずく」の観測に期待

——北極海の氷が減っていくのを見てどのように感じますか。

堀　個人的には、地球の環境が激変しているのではないかという危機感を感じます。なぜ減っているのか、簡単には答えは出ないと思いますが、北極圏の平均気温は過去30年間直線的に上昇しているんですね。ですから、海の温度が熱をためている状態なのかもしれません。こうした状態が今後どうなっていくのかを知ることに、地球観測衛星の役割があると思います。

——今年の夏に何か特別なことが起こっていたのでしょうか。

堀　北極圏を強い低気圧が通ることが多かったのです。氷の密接度が低くなっているところに、反時計回り渦の風が吹き、その風の影響で氷が散らされたのではないかと考えています。

——「しずく」はグリーンランドの氷床についても、大発見をしましたね。

堀　これも観測を開始してすぐのことだったのですが、グリーンランドを見てみると、氷床の全域の表面が溶けた状態になっていた。氷床の周辺部が溶けるのはこれまで観測されていますが、氷床の内陸部まで表面が濡れた状態になったのは、AMSR-Eの時代を含めて、初めて捉えられた現象です。ただし、これは7月12日前後の2日間のことで、その後、14日ごろには、再び表面が凍った領域が広がっていきました。

——「しずく」は観測開始早々素晴らしい成果を上げていますね。データを研究者が利用できるようになるのは、いつごろからでしょうか。

堀　来年の5月には校正検証が終わり、研究者の方々に広く使っていただけるようになると思います。

——「しずく」は全球を観測し、氷だけでなく土壌水分や海水面温度なども観測しています。解像度も高いので、世界中の研究者が期待しているでしょうね。

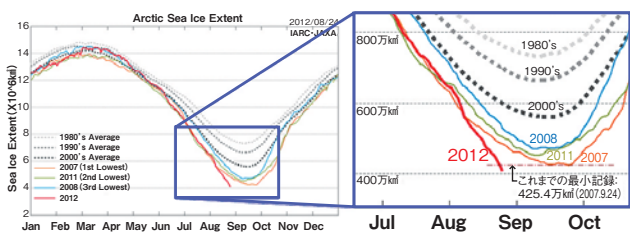
堀　日本のマイクロ波センサの技術は世界最先端です。気候変動を見るには、長期間のデータが必要です。AMSR-Eでこれまで10年間観測してきたデータと、「しずく」のAMSR2でこれから蓄積していくデータは、世界の標準データになっていくと思います。

堀 雅裕
HORI Masahiro
地球観測研究センター
主任研究員

「しずく」が捉えた地球の今

北極海の海氷面積が観測史上最小に

今年の北極海氷は観測史上初めて400万km²を下回り、349万km²に。これまで最小だった2007年9月の425万km²から日本列島2つ分も小さくなった。

左：1980年代の9月最小時期の平均的分布（米国衛星搭載マイクロ波センサの解析結果）
右：2012年9月16日「しずく」/AMSR2（検証中）

北半球の海氷面積の季節変動（2012年8月24日現在）。面積値は421万km²で、2007年9月24日に記録された衛星観測史上最小面積425万km²を1カ月も早く更新した。

グリーンランド氷床表面が全面融解

2012年7月12日にグリーンランド氷床表面のほぼ全域で輝度温度の上昇を捉えた。高い輝度温度は氷床表面が湿っている状態（融解領域）と考えられ、通常は夏季においても表面が凍結しているグリーンランド氷床の内陸部まで、融解領域が広がった可能性が高いと考えられる。

ISS長期滞在ミッション3カ月経過
星出宇宙飛行士奮闘記

7月から始まった長期滞在ミッションも、いよいよ後半戦に突入。現在までに二度の船外活動や小型衛星放出実験、「こうのとり」で運んだ物資の移送作業から設備のメンテナンスまで、星出彰彦宇宙飛行士はエンジニアの力量を発揮し、着実にミッションを行っている。

二度の船外活動で電力切替装置の取り付け成功

日本時間8月30日午後9時16分、星出彰彦、サニータ・ウィリアムズ両宇宙飛行士による船外活動が開始された。最初に行う作業は、国際宇宙ステーション（ISS）のトラス中央にあるS0（エスゼロ）トラス上に設置されている電力切替装置MBSUの交換だ。MBSUは、ISSの各システムへ供給する電源の分配を行っている重要な装置だが、4基あるうちの1基が故障して一部の機能を失っていた。そのため、今回の船外活動で予備品と交換することになったのである。

星出宇宙飛行士はISSのロボットアームに足場を設置し、S0トラスまで移動。MBSUが取り外されると、MBSUを抱えて再びロボットアームに乗り、スペア品が保管されている船外保管プラットフォーム2まで移動した。故障したMBSUをここに仮置きし、スペア品を取り外すと、再びロボットアームでS0トラスまで戻り、スペアのMBSUを設置する作業に取りかかった。ところが、MBSUのボルトを規定の回数締めることができない。ボルトを受ける部分に微細な金属粉が付着していたためだ。スペアの取り付け作業は次の船外活動で行われることになった。

今回の船外活動は星出宇宙飛行士にとって初の船外活動であり、活動時間は6時間27分。JAXA宇宙飛行士が実施した船外活動の累積時間はこれで41時間05分となり、カナダの39時間48分を抜き、米国、ロシアに続き第3位となった。

9月2日から2回目の船外活動に向けた準備が始まった。ボルトとナット部分の掃除や潤滑作業が必要になると考えられたため、星出宇宙飛行士は、船外活動で使用する可能性があるグリースガン（潤滑剤用の工具）の使用方法の確認やナットを掃除するための工具の組み立てを行った。

そして日本時間9月5日午後8時06分、星出、ウィリアムズ両宇宙飛行士による2回目の船外活動が開始された。前回の船外活動で完了できなかったMBSUを取り付ける作業が最優先の作業だ。両宇宙飛行士は、S0トラス上でMBSUのボルトとボルトを受ける支柱の目視点検を行った後、船外活動用工具を用いて付着していた微細な金属粉の清掃とグリースによる潤滑を行った。その後、MBSUを取り付け位置に設置し、2カ所のボルトを締めた。ボルトは正常に締結され、MBSUの取り付け作業は完了した。MBSU取り付け後、前回の船外活動で行えなかったISSロボットアームのカメラ・照明装置の交換作業も行われた。

二度の船外活動を行った場所はISSの進行方向の先端部にあたる。すなわち「きぼう」日本実験棟の、さらにその前に出て何の障害物もなく地球を見られる場所で作業を行った。星出宇宙飛行士は、この時見た地球が最も印象的であったと語っている。またツイッターで、「関係者の休日返上の準備のおかげで、2回目の船外活動、無事終了。前回取り付かなかった装置が取り付いた後、管制室の拍手が無線を通して船外の僕らの耳にも届いた。船内に戻り、TV電話で関係者の笑顔を見ることができた。何よりも、それが一番うれしかった」と感激を伝えた。

左上:ロボットアームの先端に乗り、MBSUを抱えて運ぶ星出宇宙飛行士。右上:2回目の船外活動では、ISSにある物を使って手作りした工具が活躍した。中には宇宙飛行士が使う歯ブラシを利用した物も。左:船外活動終了後、サニータ・ウィリアムズ宇宙飛行士とガッツポーズ

画像（8〜9P）:JAXA/NASA

不用品積み込み完了「こうのとり」を送り出す

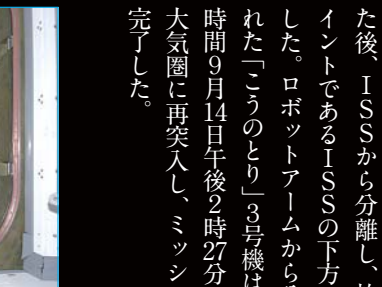
9月11日、星出宇宙飛行士は、宇宙ステーション補給機「こうのとり」3号機のISSからの離脱に向けた準備作業にほぼ1日を費やした。不用品の積み込みを完了した後、「こうのとり」3号機のハッチ閉鎖に伴う作業を数時間かけて実施。ハッチ閉鎖に先立ち、再突入データ収集装置「i-Ball」のスイッチを入れて起動させた。

翌12日、星出宇宙飛行士らは、ISSのロボットアームを操作して「こうのとり」3号機を把持した後、ISSから分離し、放出ポイントであるISSの下方へ移動した。ロボットアームから分離された「こうのとり」3号機は、日本時間9月14日午後2時27分ごろに大気圏に再突入し、ミッションを完了した。

分離に向けて「こうのとり」に不要品を積み込む

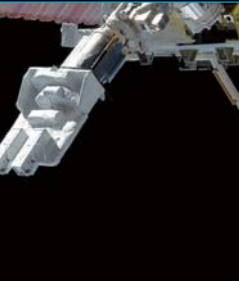
「きぼう」日本実験棟から5基の小型衛星を放出

ISSの中では「きぼう」だけが専用のエアロックとロボットアームを装備している。これらを使うことにより、船外活動をしなくても小型衛星を放出できる。星出宇宙飛行士は小型衛星放出技術実証ミッションを実施し、「こうのとり」3号機で運ばれてきた5基の小型衛星を、10月4日から5日にかけて放出することに成功した。

今回放出された小型衛星は、公募で選ばれた和歌山大学と東北大学の「RAIKO」、福岡工業大学の「FITSAT-1」、明星電気の「WE WISH」の3基、そしてNASAが提供した「F-1」と「TechEdSat」だ。

小型衛星放出は、次のような手順で行われた。まず「きぼう」エアロックの内側ハッチを開けて、衛星を搭載した小型衛星放出機構と親アーム先端取付型実験プラットフォームをエアロック・スライドテーブルに取り付け、この状態で放出機構の動作確認を行う。次にエアロック内側ハッチを閉鎖して内部を減圧し、エアロックの外側ハッチを開けて、エアロック・スライドテーブルを船外側に伸展する。「きぼう」ロボットアームで親アーム先端取付型実験プラットフォームを把持し、スライドテーブルから外し、放出位置まで移動、位置決めを行った後に小型衛星を放出する。

1回目の放出は、星出宇宙飛行士の操作によって行われ、「RAIKO」「WE WISH」の2基が放出された。2回目の放出は、地上の「きぼう」運用管制室からの操作で、「FITSAT-1」「TechEdSat」の「F-1」「TechEdSat」の3基が放出された。

船外にセットされた小型衛星放出機構

宇宙に旅立った小型衛星たち

低温冷却水系のポンプ交換やNanoStep実験に着手

星出宇宙飛行士は、設備のメンテナンス面でもエンジニアとしての力量を発揮している。「きぼう」船内実験室の熱制御を行うシステムの低温冷却水循環ポンプ2台のうち、1台が故障していたため、「こうのとり」3号機で交換用の予備品が緊急輸送されてきた。修理作業では、地上チームとの連携で故障箇所の特定から交換作業までを確実に行った。

「きぼう」で行われている宇宙実験のうち、NanoStep実験は、無重力環境でタンパク質の結晶がどのように成長していくかを〝その場〟観察で詳しく調べる実験だ。この実験は「きぼう」船内実験室の流体実験ラックに設置されている溶液結晶化観察装置で行われる。星出宇宙飛行士はこの装置に試料セルの入った専用機器を取り付ける作業を行い、実験を開始した。タンパク質結晶は他の結晶に比べると成長速度がとても遅いため、測定にはレーザー干渉計という特殊な装置が使われる。温度を少しずつ上げ下げしながら、結晶表面の成長の様子や成長速度などが調べられる。結晶成長のメカニズムを科学的に解明することは、薬の設計に重要なタンパク質の立体構造を解明することを目的とした、「きぼう」で行われている高品質タンパク質結晶生成実験での、最適な結晶化条件を知ることにもつながる。

結晶成長の様子を調べるための観察装置を備えた「溶液結晶化観察装置」の試料セルの交換作業

空調／熱制御ラック背面からポンプ交換作業を行う

星出宇宙飛行士をフォローしよう!
http://twitter.com/Aki_Hoshide

20年目の決意。

船外活動を行った星出彰彦宇宙飛行士が、1枚の写真を撮影し届けてくれました。サンバイザーに映り込んでいるのは、国際宇宙ステーションと「きぼう」日本実験棟、そして私たちの住む星です。

1992年9月12日、毛利衛宇宙飛行士がスペースシャトルで宇宙実験を開始し、日本の有人宇宙開発は幕を開けました。以来、「きぼう」日本実験棟の開発・組み立て・運用、物資補給船「こうのとり」の3機連続成功など、私たちは数々の有人宇宙技術を手にしました。

未来を探る旅が節目を迎えた今、地球にはまだまだ解決すべき問題があり、宇宙にはまだ見ぬフロンティアが広がっています。20年の挑戦を胸に、私たちはさらに先へと歩み続けます。

毛利飛行士が初フライトをしてから20年が経過しました。初めてのフライトをTVなどで見た時の興奮と感動を今でも思い出します。20年の間、先輩たちが築き上げてきた素晴らしい伝統を引き継ぐとともに、さらに新しい時代を築く為に全力を尽くしていきたいと思います。
油井亀美也

日本は層の厚い科学者、技術者を抱えているおかげで、まったく未経験の分野においても20年経た今、宇宙での科学技術実験や観測で、世界のリーダー的役割を果たすまでになりました。この経験を地道に推進することによって宇宙研究開発分野から日本が人類的規模での課題解決へ向けて大きな貢献を期待できます。
毛利 衛

「きぼう」日本実験棟や宇宙ステーション補給機「こうのとり」の開発と運用を含め、多くの方々の御尽力で日本の有人宇宙活動が一歩一歩着実に発展してきている事を感じます。技術立国としての日本が有人宇宙開発の分野でも更に大きく世界に貢献していけるよう、宇宙のフロンティアを切り拓く取り組みを支える素晴らしいチームの皆さんと一緒に更に努力していきたいと思います。
若田光一

「ふわっと'92」から20年という、日本の有人宇宙活動の節目の日に、日本人を代表して国際宇宙ステーションに滞在していることを光栄に思います。この先の20年も、多くの人が宇宙に行ける時代になるよう、宇宙飛行士として微力ながら貢献して行きたいと思います。
星出彰彦

毛利さんのスペースシャトル初飛行から20周年を迎え、大きな時代の流れを感じます。これまでの先輩方の功績を踏まえ、さらに飛躍できるよう、現役飛行士一同さらに精進していきたいと思います。
野口聡一

1992年当時、私は高校生でした。それから20年、日本の有人宇宙開発は着実に進歩を重ねてきました。諸先輩方の知見・経験を受け継ぎ、これから先の新たな一歩を踏み出すために、私も頑張りたいと思います。
大西卓哉

2011年国際宇宙ステーションに5カ月半滞在し、様々な科学実験を実施しました。不具合で予定通りいかないこともときにありましたが、地上チームと力を合わせて問題を解決することができました。彼ら地上チームは世界に通用する人材であり、それが日本にも多く育っていることは将来に向けた財産です。
古川 聡

毛利飛行士のスペースシャトル搭乗に始まった日本の有人宇宙活動は、国際宇宙ステーションの時代となりました。私たちが、次の20年を切り開いていくのだという気概を持って、日本の宇宙技術のさらなる発展のために、訓練・業務など、さまざまな活動に、積極的に取り組んで行きたいと思います。
金井宣茂

日本人の宇宙滞在時間もいまやロシア、アメリカに次いで世界で3番目に長い国となりました。この20年の技術や情報の蓄積は、今後の日本が有人宇宙分野における「自律性と自在性」を獲得していくことに大きく寄与していくものと思います。今後とも皆で力を合わせ、“人類にとっての宇宙開発”を推進していきましょう!
向井千秋

各宇宙飛行士からのメッセージの全文は、こちらでお読みいただけます。
http://www.jaxa.jp/press/2012/09/20120912_manned_activity_j.html

画像:JAXA/NASA

低騒音、低公害、地球環境に優しい航空機を生み出すために
クリーンエンジン技術の研究

環境問題は、航空機産業にも大きな影響を及ぼしている。民間航空機の運航ルールを定める国連機関ICAO（国際民間航空機関）では、環境汚染の原因となる要素を厳しく規制しており環境への影響を最小限に抑えた航空機が求められている。未来の航空機産業のためにJAXAではクリーンなエンジンを作る先進技術を研究している。

クリーンエンジン技術の研究に取り組む、航空プログラムグループ・環境適合エンジン技術チーム。左から山本武リーダ（エミッション低減セクション）、二村尚夫チーム長、山根敬リーダ（高温化セクション）、野崎理チーフマネージャ、石井達哉リーダ（低騒音化セクション）

日本発のクリーンエンジンを目指して

ＪＡＸＡはこれまで、ＮＡＬ（航空宇宙技術研究所）の時代を含め、長年にわたって航空機用エンジンの研究開発を行ってきた。クリーンエンジン技術の研究開発は２００３年から開始され、12年度内に完了しようとしている。技術開発の背景には、ジェットエンジンの燃焼高温化による窒素酸化物（NO_x）や、二酸化炭素（CO_2）の増加が地球環境に与える影響を憂慮した、ＩＣＡＯ（国際民間航空機関）による排気ガスおよび騒音の規制強化の流れがある。また、今後アジアを中心に航空機の便数がさらに増加すると予測されており、排気ガスや騒音への対策を行わなければ、大きな問題に発展しかねないという危惧もある。「80年代以降、多くの航空機や航空機の部品を作るようになってきた日本は、環境面にも配慮した技術開発に取り組まねばならない局面に来ています」と航空プログラムグループ環境適合エンジン技術チームの二村尚夫チーム長は語る。

こうした状況から、ＪＡＸＡは世界的な航空機産業の動向もふまえて、１００人乗り程度の小型機に使用されるエンジンをターゲットにし、エンジンから発生する騒音を抑える〝低騒音技術〟、NO_xの排出を減らすための〝低NO_x燃焼技術〟、燃費を向上させることでCO_2の排出量を削減する〝低CO_2技術〟からなるクリーンエンジン技術の研究開発を進めてきた。

クリーンエンジン技術開発の研究開始にあたっては、

●騒音のレベルをＩＣＡＯが２００６年に規定した基準よりも23ＥＰＮｄＢ下げること。

●NO_xをＩＣＡＯが２００４年に規定した基準から80％削減すること。

●既存のエンジンよりも15％燃費を向上させCO_2を削減すること。

が、研究の目標として定められた。「目標を達成するためには日本のありとあらゆる叡智を集結しなければなりません。大学や企業も取り込んだ、幅広い共同研究のネットワーク構築もわれわれの役割なのです」（二村チーム長）。

気体の流れを把握し騒音を抑える

では、ＪＡＸＡが研究しているクリーンエンジン技術とは、具体的にどのようなものなのか。まず、エンジンの騒音を低減させる低騒音技術を紹介しよう。「近年の高バイパス比（※）エンジンの主要な騒音として、ファン騒音とジェット騒音をプロジェクトでは扱っています。燃焼器やタービンなどのコア騒音も今後の課題として注目しています」と低騒音化セクションの石井達哉リーダは説明する。

ターボファンエンジンの入口側に位置するファンは、回転する動翼と固定された静翼で構成される。静翼を周方向に傾けたリーン静翼と呼ばれる形状を採用することで、動翼と静翼の干渉により発生する離散周波数音を軽減できるのだが、空力性能とバランスがとれるような最適な翼形状を得ることが難しい。そこでＪＡＸＡでは、数値流体解析（ＣＦＤ）技術を活用して、動静翼干渉音の発生と伝播・放射を予測しながら翼形状の設計を進めている。

ジェット騒音の低減は大別すると2つのアプローチがある。１つはバイパス比を高めることであり、平均排気速度を低下させて放射騒音の低減を図る。プロジェクトでもエンジンのバイパス比の増加による騒音予測を進めている。

もう1つは、ミキサ（Ｍｉｘｅｒ）と呼ばれる装置を排気ノズルに付加することだ。ジェットによる混合騒音は、排気ノズルから噴出する高速ジェットと周囲の低速な空気の流れの間の混合が原因となる。ミキサはこの混合を巧みに制御してジェット混合騒音を抑制する役割を果たす。ここでのミキサは、急速混合する大型のものから、ジェットと周囲の空気の間にわずかな乱れを加えるだけの小さなものまでさまざまだ。ミキサについてＪＡＸＡでは、ノズル先端の小さな窪み（ノッチ：株式会社ＩＨＩと共同研究）、展開収納を想定した爪状突起（ネイル）、ノズル周囲から流体を注入する方式（例えばマイクロジェット）を対象として、音響設備での模型試験、屋外のエンジン騒音試験や数値解析を実施している。

技術移転し航空機産業の発展につなげる

低NO_x燃焼技術についてはどうだろう。「航空機の場合、自動車に使われる触媒のような後処理はできません。燃料についてもイオウやリンなどは除去されていますから、あまり工夫の余地はありません」（二村チーム長）。また、近年ジェットエンジンの高温化に伴い、NO_xの排出量も増加傾向にあるという。NO_xの排出量を減らすためには、燃焼部分での工夫が必要だ。ＪＡＸＡでは、燃料と空気を混ぜてから燃やす〝希薄予混合燃焼〟という方法に着目し研究を行った。

燃料を燃やす際、燃焼後に空気と燃料が残らない状態を量論比といい、この時燃焼ガスの温度が最も高く、またNO_xも多く発生する。量論比よりも燃料の割合が多い状態をリッチ、空気の割合が多い状態をリーンと呼ぶが、リッチ状態あるいはリーン状態で燃やせばNO_xを削減することができる。「リッチ状態で燃やすと燃料が余り、スモークなどの発生につながります。そこで、リッチ状態から急速に空気を混合させる方式が考えられましたが、リッチからリーンに移行する際に量論比状態になることが避けられず、NO_xの削減には限界がありました。そこで最初からリーン状態で燃焼する希薄予混合燃焼方式に注目したのです」と、エミッション低減セクションの山本武リーダは語る。

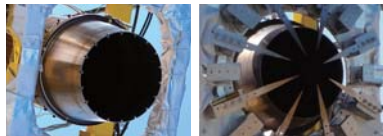
燃料と混合する空気の割合を50〜70％にすることで、常にNO_xが少なく高温にならないリーン状態で燃焼させることができる。ただし、燃料の希薄なリーン状態での燃焼は不安定になりやすい。そこで、中心に安定した火種を作るパイロット燃料ミキサを、周囲にメイン燃料ミキサを配置する希薄予混合燃料ノズルを開発した。実験は、燃料ノズル1個分のシングルセクタ燃焼器で行ったが、目標にはわずかに届かなかったため、さらに燃焼器の途中にもう1つの予混合ノズルを配置した燃焼器を開発、実験の結果、目標をクリアする結果が得られた。

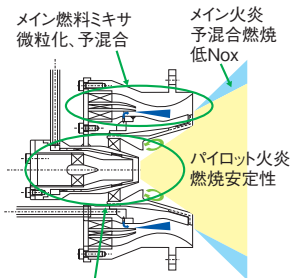
CO_2の削減は、エンジンの効率、燃費を向上させることとほぼ同義だ。ジェットエンジンにおいて燃費を向上させるために効果の大きい方法の1つは、取り入れる空気量を多くすること。ファンを大きくすれば空気をたくさん取り込むことができるが、サイズや重さを考えればむやみに大きくもできない。そこで、ファンの形状を最適化して羽根1枚あたりの仕事量が増えるような設計や、羽根の根本と先端での性能の違いが小さくなるような設計を行った。エンジン内での損失を少なくする、つまりできるだけ空気が滑らかに流れる環境を作ることも有効だ。「圧力損失を少なくするために、空気抵抗の要因となるパイロンの形状に着目。ＣＦＤを使用した設計により、パイロン形状を変更することで損失を大きく低減できることが分かりました」と高温化セクションの山根敬リーダは語る。ファンを駆動するコアエンジンを高性能化する研究も進めており、最終的には、エンジン全体のバランスを考慮して、目標を達成するようなエンジン技術を確立するめどがたった。

クリーンエンジン技術の研究は、すでに目標値をクリアするめどは付いている。技術が確立すれば、日本の民間企業に技術移転し、新しいエンジン開発につながっていく。日本の航空機メーカーの大きなアドバンテージになる可能性を秘めた技術なのだ。

※バイパス比
コアエンジンが使用する空気量とファンを通過するだけの空気量との比率。
バイパス比が高くなるとファンジェットの平均速度を遅くでき、燃料消費、騒音も小さくなる。

低騒音技術

屋外エンジン騒音試験の様子。供試エンジンを能代ロケット実験場内の平地に架台とともに固定し、エンジンの回転数などを変えて、ミキサを付加した場合のエンジンからの放射音を、エンジン周囲に設置したマイクロホン、および音源探査用マイクロホン（B&K Japan共同研究）で計測した。

左:IHIと共同研究で開発したノッチミキサ。ノズル先端の小さな窪み（ノッチ）によりジェット混合を促進。右:クローミキサ。収納を想定した爪状突起（ネイル）をノズル近くに配置。

低NOx燃焼技術

希薄予混合燃料ノズルの断面図。パイロット燃料ミキサの周囲にメイン燃料ミキサが配置されている。

ICAOのNOx基準（CAEP/4）に対する割合を縦軸に、CO基準に対する割合を横軸にとり、シングルセクタ燃焼器、マルチセクタ燃焼器（燃料ノズル3セット分の部分燃焼器）での試験結果を実機データと比較したグラフ。目標を余裕を持って満足する、世界最高の低NOx性能を実証した。

低CO_2技術

主軸をつり下げるパイロン（主翼－エンジン間の継手）によるロスを少なくするため、パイロンの形状を改良し燃費向上を図った。図はタービン内部の全圧分布を示したもので、鈍頭型パイロン（左）と改良型パイロン（右）の全圧の比較。青い部分で損失が大きい。パイロンの形状や取り付け角度を工夫して流れの損失の低減を実現。

宇宙機システムの信頼性向上に貢献

「高信頼性リアルタイムOS」

ロケットや人工衛星には、機体を制御するさまざまなソフトウェアが搭載されている。中でも、アプリケーションとハードウェアをつなぐOSはソフトウェアの基本であり、高い信頼性が要求される。この夏に打ち上げられたH-ⅡBロケット3号機には、JAXA自らが開発した高信頼性リアルタイムOSが初めて採用され、十分な機能を果たした。宇宙機以外の分野への展開も期待される高信頼性リアルタイムOSについて、開発者に話を聞いた。

佐藤伸子
SATO Nobuko
情報・計算工学センター
技術領域サブリーダ

石濱直樹
ISHIHAMA Naoki
情報・計算工学センター
主任開発員

横田清美
YOKOTA Kiyomi
宇宙輸送システム本部宇宙輸送系要素
技術研究開発センター　主任開発員

シビアな制御で宇宙機を目的地へ

2012年7月21日に種子島宇宙センターから打ち上げられたH−ⅡBロケット3号機には、JAXAと名古屋大学が共同で開発した高信頼性リアルタイムOS（以下、高信頼性RTOS）が初めて搭載された。リアルタイム（Real Time）とは、「即時に」あるいは「実時間」という意味で、OSは基本ソフト（オペレーティングシステム：Operating System）のこと。すなわちRTOSとは、決められた時間やタイミングで、命令を実行させるための基本ソフトを指す。開発を担当した情報・計算工学センターの石濱直樹主任開発員は、〝やるべきことを定められたタイミングで行うように実行するためのソフトウェア〞と説明する。

RTOSは、ハードウェアに組み込まれた状態（組み込みシステム）で利用されることが多く、例えば即時性が求められるエンジンや車体を制御する車両制御システム、通信システム、ナビゲーションシステム、通信カラオケなど、幅広い分野で利用されている。

ロケットでは、正しいタイミングできちんと制御されることが極めて重要で、もしもタイミングが少しでもずれたり正しい時間に動作しなかったりすれば、人工衛星を目的の軌道に投入することができなくなってしまう。私たちが知っているWindowsやMacOS、Androidといった汎用OSでは、RTOSが行うようなシビアな時間制御はできない。

また、汎用OSはいろいろな目的に利用しようとするため、本体の容量が非常に大きくなっている。その点、RTOSは容量が非常に小さくて済む。

「高信頼性RTOSの場合、数十キロバイトから百数十キロバイトという容量に収めることができます。ロケットや人工衛星・探査機は、限られたリソース（例：メモリサイズ）の中で開発されるため、容量が小さいOSは、宇宙機に搭載する際に有利になります」（石濱主任開発員）

信頼性を確保しさらに向上させるために

JAXAにおけるRTOSの研究開発は、2003年ごろから開始された。そのころ、JAXAの宇宙機でRTOSが搭載され始めていたが、それは市販品だった。

市販のRTOSを使用する場合、大きく2つの問題がある。1つはソースコード（人が解読できる状態のプログラム）が開示されないこと、もう1つはどのような方法でRTOSの検証が行われたのかという情報が入手しにくいことだ。ソースコードが手元にないと、正しく動作しない場合にどこに問題があるのか——ハードウェアなのか、RTOSなのか、アプリケーションなのか——という判断が難しくなる。もしRTOSに問題があった場合には、その都度メーカーに修正を行ってもらう必要も出てくる。また、どういう検証をしたのかが分からないと、必要な環境や状況で本当に正しく動作するのかがあやふやになってしまう。ロケットのように信頼性が求められるミッションで使用するRTOSには、「オープン性が重要」だと石濱主任開発員は語る。

高信頼性RTOSは、「TOPPERS／HRPカーネル（※1）」と「Safetyカーネル」という2つから構成されており、どちらもJAXAの宇宙機搭載用RTOSの検証をパスしている。

TOPPERS／HRPカーネルは、NPO法人TOPPERSプロジェクトのRTOSをベースにして、宇宙機で使用することを前提に、信頼性を高める機能を強化したものだ。TOPPERSプロジェクトでは、さまざまな分野に合わせたμITRON（※2）仕様のカーネルの開発や配布が行われている。TOPPERSプロジェクトの成果は全てオープンソース、つまりソースコードが公開されているので、誰でもが内容を確認し活用できるようになっている。多くのエンジニアや研究者の目に触れることで、脆弱性の洗い出しや改善につながる。こうした取り組みも、RTOSの信頼性を高めるための取り組みの一つと言えるだろう。

イプシロンやALOS-2 他業種への活用も視野に

JAXAの情報・計算工学センターでは長年RTOSの研究開発を行ってきたが、最初からH−ⅡBロケットへの搭載が決まっていたわけではない。

これまでH−ⅡA／Bロケットで使われていた搭載計算機などは、部品がすでに製造されなくなり、いずれ使用できなくなることが分かっていた。このため再開発されることになり、CPUの変更に伴って、RTOSもCPUに対応するものに変更された。

「他のRTOSと比較した結果、ハードウェアとの適合性や、オープン性の確保、長期の保守・維持性などで優位だったため、高信頼性RTOSを選択しました」と、宇宙輸送系要素技術研究開発センターの横田清美主任開発員は高信頼性RTOS採用の経緯を振り返る。

こうして高信頼性RTOSは、H−ⅡBロケット3号機の1段目に搭載される誘導制御計算機と、2段目に搭載される誘導制御計算機および慣性センサユニットに搭載されることになった。「いったん打ち上がってしまえば、万が一何かトラブルが発生したとしても、地上から修理に行くことはできませんから、事前に万全のチェックを行います」（横田主任開発員）。例えば、地上では影響の少ない放射線も、宇宙空間では機器に対して致命的な影響を与えるかもしれない。万一、放射線の影響で計算機が停止してしまったとしても、自動的に復旧させる必要がある。ハードウェアに自動復旧の機能がなければ、当然ソフトウェア側で自動復旧の機能を搭載しなければならない。こうした要望を受けて機能が追加された高信頼性RTOSは、放射線試験など数々の厳しい試験を見事にパスし、信頼性を確実にした。

今回、H−ⅡBロケット3号機に搭載された計算機のアプリケーションは、計算機の再開発に合わせて改修を行ったが、高信頼性RTOSの開発陣がJAXA内部にいることで情報の伝達が速く、RTOSとのインターフェースに関し素早く対応することができた。また、ソースコードが計算機やアプリケーションを開発するメーカーに配布されているため、問題もスピーディーに解決することができた。

「高信頼性RTOSのリリースにあたって気を付けたのは、ユーザーにとって使いやすいOSであることです」と語るのは、開発チームの責任者、情報・計算工学センターの佐藤伸子技術領域サブリーダ。「RTOSの基本的な機能の充実や信頼性の向上はもちろん、ユーザーのために、分かりやすいマニュアルを用意することにも気を配りました。問い合わせのあった箇所は随時見直し、誤使用につながらないように気を配っています」

高信頼性RTOSは今後、来年度打ち上げ予定のイプシロンロケットやALOS−2などの宇宙機に搭載されていく計画だ。また、JAXA以外の他業種でも高信頼性RTOSを活用してもらえるよう、積極的にアピールしていく。

※1 カーネル　OSの中核をなすソフトウェアコンポーネントをカーネルという。メモリやCPUパワーといったシステムのリソース管理やハードウェアとの通信管理を担う。
※2 μITRON　東京大学坂村教授によるTRONプロジェクトの工業向け仕様である「ITRON」の一系統で、ITRONを小型化したリアルタイムOSの仕様。「マイクロアイトロン」と読む。

各種
アプリケーション
高信頼性リアルタイムOS
TOPPERS/HRP
カーネル
Safety
カーネル
ハードウェア

新型の誘導制御計算機

ロケット共通
MPUボード外観

基盤（表面）

誘導制御計算機と慣性センサユニットで使用している新しい64bitMPU、HR5000搭載のマザーボード。RTOSは、HR5000に搭載され、アプリケーションとハードウェアの橋渡しを行う

HR5000
（64bit MPU）

京の伝統に宇宙から新風を吹き込む「きぼう」に舞う桜吹雪

淡い色の花びらが風に舞うさまは日本人の心性と深く結びついたシンボリックなシーンだ。晴れやかな入学式や涙の卒業式、大切な人との出会いや別れ、あるいは片肌を脱いだお奉行様など、誰も「桜吹雪」と聞けば目に浮かぶ映像がいくつかあることだろう。その桜吹雪を微小重力下で——「きぼう」日本実験棟の内部で——舞わせてみようという試みが『「赤色」でつなぐ宇宙と伝統文化』である。文化・人文社会科学利用パイロットミッション(EPO)の第2期テーマに選定され、今年2月2日に「きぼう」で実現した。

「実施のため割り当てられた時間は2時間。担当した宇宙飛行士のドナルド・ペティットさんは、カメラや照明・機材の設定を綿密に注意深く行ってくれました。が、残り時間がどんどん少なくなって、あとわずかというところで、通信回線が途切れ、映像が映らなくなってしまった。もうだめか……、と思っていたところでパッと映像が回復した。今まさに花びらを放出しようとするところでした」(代表提案者・村山裕三同志社大学教授)

朱や紅や緋や茜など日本古来の〝赤色〟で、1年12カ月をイメージして12色の赤に染められた正絹の花びらが、微小重力下で不思議に舞う様子は3Dカメラで撮影され、筑波宇宙センターにダウンリンクされた。3Dグラスを装着して見る花びらの舞いは、手を伸ばせば触れられそうなほどリアルで鮮やかで感動的なものだったという。

「準備には本当に苦労し、たくさんの方に協力をいただいた試みでした。時間切れでもうダメかと思っていたところで、見ることができた。まさにロスタイムの決勝ゴールという感じで感激しました」(実施に関わった京友禅作家の川邊祐之亮(かわべゆうのすけ)さん)

この試みの母体となったのは、村山教授が同志社大学ビジネススクール内に開設した「伝統産業グローバル革新塾」のメンバーたちだ。友禅染、西陣織、清水焼、扇子、木版画など伝統産業に加え、日本料理、日本酒、お米、菓子などに携わる17名の若手経営者と職人が集まり、2007年に発足した。

この「革新塾」が目指したのは伝統に革新を持ち込み、グローバルな展開で産業振興と人材育成を行うこと。背景には伝統産業が置かれた状況に対する村山教授の危機感があった。自身も西陣織の機屋に生まれたが、跡目が途絶え廃業というバックグラウンドを持っている。09年11月にはパリ・モンパルナスで「京都の赤展」を開催、織物や焼き物、木版画の実演など、伝統文化の現代的な表現が高く評価された。そのグローバルな成功が今回のユニバーサル(宇宙的)なチャレンジにつながっている。

今回の実施にあたって、撮影に用いられた布製ブースの縫製には布団屋さんが活躍。本物の花びらの1枚1枚をハケで拭って花粉を払った花屋さんもいた(ISSの持ち込み規定をパスすることはできなかった。金箔も検討したが導電物質のためNG)。太秦(うずまさ)の東映撮影所で美術マンやカメラマンに、桜吹雪の形状や材質や撮り方などのアドバイスももらい準備を重ねたという。

微小重力環境下でのモノのふるまいは地上とは大きく異なっており、桜吹雪もそれを反映し、速く舞う花びらやゆったりと舞う花びらが同じフレームの中に不規則に混在する。地上ではなかなか撮れない映像であり、われわれが従来の意味でイメージする桜吹雪とは異なるものだ。

しかもそこには、京都の伝統の技が深く刻み込まれている。この試みに携わる作家や職人たちに、この桜吹雪がどんなインスピレーションをもたらすことになるのか、今後の展開に注目したい。

(文/喜多充成)

「赤色」 村山裕三/JAXA(実施)

左上:「花びらがくっついてしまっていると、うまく舞ってくれない。直前に袋をもんでほしいとお願いし、急遽それを宇宙飛行士の作業手順書に加えていただきました。緊迫したやりとりがインカムを通じて飛び込んでくるんですが、まるでアポロ13の1シーンを体験しているようで感動しました」(村山教授) 右上:試行錯誤の末に完成した友禅染の花びら　右下:「革新塾」設立当初から講師を務める川邊さんは、手描友禅染の工房の生まれ。現在、宇宙桜吹雪から得たインスピレーションをもとに、着物の図案を考案中だ

村山裕三
MURAYAMA Yuzo
同志社大学大学院ビジネス研究科教授
ワシントン大学で博士号取得(アメリカ経済史)。野村総合研究所でエレクトロニクス・通信のアナリストとして勤務。大阪外国語大学教授を経て現職。経済安全保障、技術政策、京都型経営などの著書多数。

右:現在の能代ロケット実験場。特別公開には子どもたちも大勢訪れた。後ろに見える大気燃焼試験棟の上部は今年度中に取り壊されることになっている。
左:リニューアルオープンした能代市子ども館の宇宙館。M-3SIIロケットの尾翼筒をはじめ、構造試験や燃焼試験に用いられた実物が整然と展示されている。能代市子ども館では、開館に先立って行われたロケット関係者によるデモ解説をビデオに収め、職員の研修を行っている

能代ロケット実験場開設50周年

能代ロケット実験場が今年10月で開設50周年を迎えました。これを記念して9月上旬に行われた関連行事について紹介します。

秋田県とロケット開発

大勢の夢と希望を乗せて閃光と轟音とともに宇宙に旅立つロケット。派手に見える世界ですが、その開発そのものは地道な作業の積み重ねです。

このロケット開発において、秋田県は特別な位置付けにあります。そもそも日本で初めてロケットが発射されたのは道川海岸に設置されていた東京大学秋田ロケット実験場。国分寺で行われたペンシルロケットの水平試射実験のわずか4カ月後、1955年8月のことでした。続く国際地球観測年を機に、秋田ロケット実験場で次々に行われた観測ロケットの打ち上げを通じて、ロケットの打ち上げ性能を次第に高めていきました。

62年5月のK-8型ロケット10号機の事故に伴って東京大学は秋田ロケット実験場から撤退することとなりましたが、同年10月から後を継いだ能代ロケット実験場では、固体ロケットやエアーターボラムジェット(ATR)エンジンの開発など、宇宙科学関連の各種の基礎的な試験が重ねられてきました。また、三菱重工業の田代試験場でも、H-IIAロケットのメインエンジンであるLE-7Aをはじめ、各種の液体ロケットエンジンの試験が進められています。また、最近では秋田大学などを中心とした能代宇宙イベント協議会の主催で「能代宇宙イベント」が開催されており、高校生や大学生らによるハイブリッドロケットやモデルロケットの飛翔実験や缶サット競技なども行われています。

このように、内之浦や種子島など鹿児島県内にある射場がロケットにとっての晴れ舞台だとしたら、秋田県内の試験施設はロケット開発の地道な作業が進められる研鑽の場だというわけです。

開設50周年を記念し大規模イベント

このようにして日本の宇宙科学研究を支えてきた能代ロケット実験場が、今年の10月で開設50年を迎えました。これにあわせて9月8日と9日には、能代ロケット実験場開設50周年記念事業の一環として「銀河フェスティバルin能代」が開催されました。昨年の「はやぶさ」帰還カプセル特別展示で行ったのと同様に、能代ロケット実験場だけでなく市内の関連施設と連携しての大規模なイベントとなりました。

沿岸部にある能代ロケット実験場では開所50周年式典と特別公開、そして東北電力の能代エナジアムパークでは月惑星ローバーのデモンストレーションや映画上映などが行われ、市内中心部にある能代市文化会館では記念シンポジウム、そして能代市子ども館ではリニューアルオープンとセレモニーが行われ、多数の地元客でにぎわいました。

能代市子ども館のリニューアルオープンは、開館25周年を機に2階部分を宇宙館に改装するもので、JAXAの全面協力のもと、相模原キャンパスの構造機能試験棟に保管されていた名機M-3SIIロケットの尾翼筒や接手などの構造試験モデルや、89年に打ち上げられて以来、今だに現役で活躍中のオーロラ観測衛星「あけぼの」の構造試験モデルなど、他にはない実物を中心とした展示が出来上がりました。

9月8日の晩には東北地方のお祭りが能代に集結する「おなごりフェスティバル in 能代 2012」も市の中心部で開催され、青森ねぶた、能代七夕、秋田竿燈、盛岡さんさ、仙台すずめ踊りなどが一堂に会して、さながら夏祭りのヒットメドレーの様相を呈していました。前座としてJAXAの職員も、“はやぶさクン”や宇宙飛行士に扮したり、キバ提灯や横断幕を持ったりして、観客の前を練り歩きました。

「バスケットのまち」から「ロケットのまち」へ

翌9日に行われた記念式典の際には、能代市とJAXA宇宙科学研究所の間で宇宙科学の教育普及などに関する連携協力の覚書が交わされ、50年間続けてきた観測ロケット協力会の枠組みを教育普及分野にも拡大して、今後さらに連携を深めていくことになりました。

能代工業高校バスケットボール部の活躍で全国に名を馳せた「バスケットのまち能代」は、能代ロケット実験場の開設50周年を機に、「ロケットのまち能代」としてもさらに名を馳せることになるはずです。世界遺産に指定された白神山地を望む能代にぜひ足をお運びください。

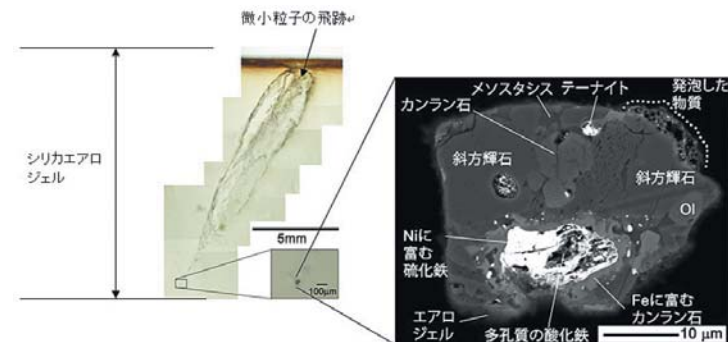
阪本成一
SAKAMOTO Seiichi
宇宙科学研究所教授/宇宙科学広報・普及主幹。専門は電波天文学、星間物理学。宇宙科学を中心とした広報普及活動をはじめ、ロケット射場周辺漁民との対話や国際協力など「たいがいのこと」に挑戦中。写真は能代ロケット実験場開設50周年を記念して作られたキバ提灯とともに。

開設当時の能代ロケット実験場。L735の地上燃焼試験が行われた

INFORMATION 1

新種の地球外物質を国際宇宙ステーションから回収

国際宇宙ステーションの「きぼう」日本実験棟利用に先駆けて、ロシアの居住棟外部に取り付けた微小粒子捕獲実験及び材料曝露実験装置によって2005年に回収された微粒子が、新種の地球外物質であることが判明しました。JAXAと茨城大学が分析した結果、回収された試料の中で直径約30マイクロメートルの微粒子が、始原的な隕石を特徴付けるコンドルール(※1)様物体であるものの、これまでのコンドルールには見られない鉱物学的特徴をもつことが分かりました。同時に、含まれる鉱石(カンラン石や輝石)の酸素同位体比は、これまでに地上や大気圏で得られた惑星間塵、微隕石及びヴィルト第2彗星塵(※2)に似ていました。この両者の特徴を兼ね備えた物質は発見されておらず、今までに知られている地球外物質とは違う小天体起源の物質と考えられます。実験装置を設置していたロシアの居住棟「ズベズダ(ロシア語で星の意味)」にちなみ、この微粒子を「Hoshi」と名付けました。

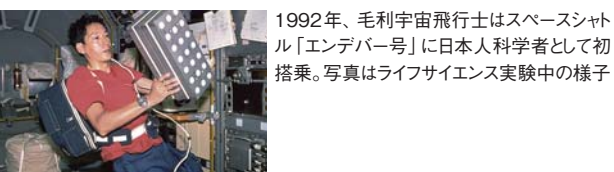
※1 太陽系が誕生して間もないころの情報を多く有していると考えられている球状粒子のこと。多くの隕石中に見られ、地球の岩石には見られない特徴的な粒状構造をもつ。また、コンドルールによく似ているが、彗星塵に含まれる大きさのずっと小さな物体をコンドルール様物体と呼ぶ。
※2 NASAスターダスト衛星によってサンプルリターンされた塵。

左:シリカエアロジェル内の光学顕微鏡写真(断面図)
右:捕獲された「Hoshi」の拡大写真(断面の電子顕微鏡像)

INFORMATION 2

JAXA有人活動20周年
フロンティアを切り拓き世界に貢献するために

9月12日は、毛利衛宇宙飛行士がスペースシャトルに搭乗し、宇宙での活動を開始した1992年9月12日の「ふわっと'92」宇宙実験から、20年となります。この20年の間に日本はスペースシャトルでの宇宙実験計画を推進しつつ、国際宇宙ステーション「きぼう」日本実験棟の開発・組立を実現するとともに日本の物資輸送船「こうのとり」の打ち上げ・運用の連続成功を達成するなど、有人宇宙活動の目覚ましい進展がありました。現在は「きぼう」のオペレーションを着実に進め、産学官との連携・協力のもと、「きぼう」での利用実験を進めています。JAXAでは、10月11日に東京プリンスホテルで「有人宇宙活動20周年記念シンポジウム」を開催。毛利、向井、若田宇宙飛行士らを迎え、宇宙飛行士の視点から今後の展望についてパネルディスカションを行いました。20年の節目を迎えるにあたり、立川敬二理事長の談話を以下に紹介いたします。

9月12日で、JAXA(当時は宇宙開発事業団・NASDA)の毛利衛宇宙飛行士が「ふわっと'92」(第一次材料実験)のため米国・スペースシャトルで初飛行してからちょうど20年が経ちました。この間、JAXAは、日本人宇宙飛行士によるスペースシャトル上での数々の実験、「きぼう」日本実験棟の組み立て・完成、宇宙ステーション補給機「こうのとり」による物資輸送、日本人宇宙飛行士による国際宇宙ステーションでの活動を国際協力のもと着実に遂行してまいりました。これらにより、日本は多くの有人宇宙技術を習得することができました。有人宇宙技術の分野で当初は「学ぶ」だけであった日本が、現在では、国際的にも大きな貢献を果たし、国際パートナーからも信頼される存在となりました。有人宇宙技術は先端技術と安全性・信頼性技術の結集であり、科学技術立国としての我が国に必要不可欠なものです。今後も、国際的な協働の中で我が国が重要な役割を果たすことができるよう、有人宇宙開発を継続的に推進していきたいと思います。

●JAXA宇宙飛行士のメッセージはこちらで紹介しています。
http://www.jaxa.jp/press/2012/09/20120912_manned_activity_j.html

1992年、毛利宇宙飛行士はスペースシャトル「エンデバー号」に日本人科学者として初搭乗。写真はライフサイエンス実験中の様子

INFORMATION 3

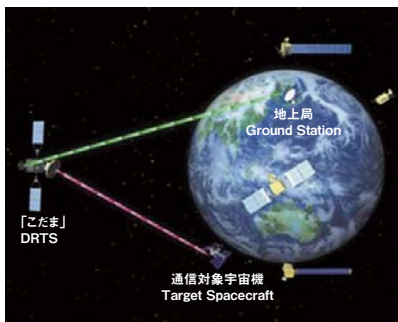
油井宇宙飛行士ISS長期滞在決定 田中文科相、前原宇宙政策担当相を表敬訪問

油井亀美也宇宙飛行士が、国際宇宙ステーション(ISS)第44次/第45次長期滞在搭乗員に決定しました。油井宇宙飛行士は2009年2月に宇宙飛行士候補者として選抜され、2011年7月にISS搭乗宇宙飛行士として認定。米国海底研究施設でのNASA極限環境ミッション運用(NEEMO)訓練に参加するなど、ISS搭乗宇宙飛行士としての資質を維持向上してきました。2015年のISS長期滞在中はフライトエンジニアとして、ISSの運用や宇宙環境を利用した科学実験などを担当する予定です。油井宇宙飛行士は、10月15日に田中眞紀子文部科学相を表敬訪問。田中文科相は、油井宇宙飛行士が航空自衛隊出身であることについて「いろいろな所から宇宙飛行士が出るのはいい。国民が関心を持ってくれる」と話し、油井宇宙飛行士は「成果を上げて、国民や世界の期待に応えたい」と抱負を述べました。10月17日には前原誠司宇宙政策担当相を訪れ、「体に気を付けて行ってきてください」と激励を受けました。

●油井宇宙飛行士をフォローしよう!
http://twitter.com/Astro_Kimiya

INFORMATION 4

「こだま」軌道上での運用10年を達成

2002年9月10日に打ち上げられたデータ中継技術衛星「こだま」が、設計寿命の7年を超え、今年9月10日に軌道上運用10年を達成しました。「こだま」はこれまでに、陸域観測技術衛星「だいち」と世界最高速度278Mbps(当時)のデータ中継実験に成功し、その広可視域を活かして大容量データをリアルタイム中継することで、「だいち」の地球全球陸域観測及び災害時の緊急観測に貢献してきました。「だいち」の654万シーン・約1ペタバイトにも上る観測データの95%以上は「こだま」経由で取得されたものです。また、10年間にわたって国際宇宙ステーションの「きぼう」日本実験棟、欧州宇宙機関の地球観測衛星「Envisat」など多種多様な6機の宇宙機とのデータ中継実験にも成功し、実験稼働率は99%以上という高い値を達成しました。「こだま」は、来年度に打ち上げ予定のALOS−2でも利用する計画であり、今後もデータ中継衛星の利用は計画されることから、JAXAはデータ中継機能を継続的に確保するための検討を進めています。

「こだま」によるデータ中継概念図

INFORMATION 5

熱帯降雨観測衛星「TRMM」15周年

1997年11月28日(日本時間)に日米共同プロジェクトとして打ち上げられた熱帯降雨観測衛星「TRMM」は、雨を正確に測ることに特化した最初の人工衛星です。日本は降雨レーダの開発と宇宙への打ち上げを担当しました。TRMMは、現在も順調に観測を続けていて、今年11月には衛星運用15周年を迎えます。TRMMの長期間観測した降水データは、熱帯・亜熱帯域の科学的研究に貢献してきたのはもちろん、数値天気予報への利用や、TRMM衛星を中心とした複数衛星データによる全球降水マップの開発、洪水予警報への利用など、その貢献はさまざまな分野に拡がっています。11月12日には、15周年記念シンポジウムが開催される予定です。
http://comm.stage.ac/trmm15/

INFORMATION 6

JAXAシンポジウム2012 in 福岡、札幌開催

上:約540名の出席者で会場はほぼ満席になった福岡会場。下:こちらも参加者約580名にのぼる大盛況の札幌会場。展示された宇宙服は子供たちに大人気

左から中川プロジェクトマネージャ、気象庁・佐藤氏、漁業情報サービスセンター・為石氏

古川宇宙飛行士(中央)と司会を務めた漫才コンビのパックンマックン

9月19日に福岡市、21日に札幌市で、JAXAシンポジウム2012「宙(そら)から視(み)る、宙(そら)をつかう」が開催されました。第1部では、第一期水循環観測衛星「しずく」のミッションや最新動向が紹介され、「しずく」の中川敬三プロジェクトマネージャと、「しずく」観測データのユーザーである気象庁予報部・佐藤芳昭氏、漁業情報サービスセンター・為石日出生氏がトークセッションを行いました。佐藤氏からは、「しずく」搭載のマイクロ波放射計により雲を透かして雨分布が観測できるので、予報精度の向上につながることが紹介されました。また、為石氏は漁業への活用として、「しずく」の水温データをもとに魚場の特定ができることを挙げました。第2部では古川聡宇宙飛行士が登場し、星出彰彦宇宙飛行士の長期滞在ミッションや自身の長期滞在中の医学実験などについて紹介。「いろいろなことに興味を持ち、夢に向かって一歩努力をすれば、たいがいの夢はかなう」と来場者にエールをおくりました。

INFORMATION 7

樋口副理事長が国際宇宙航行連盟会長に選出

10月5日、イタリアのナポリ市で行われた国際宇宙航行連盟(IAF:International Astronautical Federation)総会にて同連盟会長改選が行われ、JAXAの樋口清司副理事長が会長に選出されました。IAFは、平和目的の宇宙航空分野の研究発展を世界規模で図るべく1951年に設立された、世界の宇宙機関、企業、研究機関など220を超える機関が加盟する世界最大級の学会です。アジア地域からの会長選出は、60年を超えるIAFの歴史の中で五代富文氏(旧宇宙開発事業団副理事長)に続いて2人目となります。

JAXA's
宇宙航空研究開発機構機関誌 No.047
発行企画●JAXA(宇宙航空研究開発機構)
編集制作●財団法人日本宇宙フォーラム
デザイン●Better Days
印刷製本●株式会社ビー・シー・シー
2012年11月1日発行

「こうのとり」3号機の隠れた目玉ミッション 再突入データ収集装置「i-Ball(アイボール)」

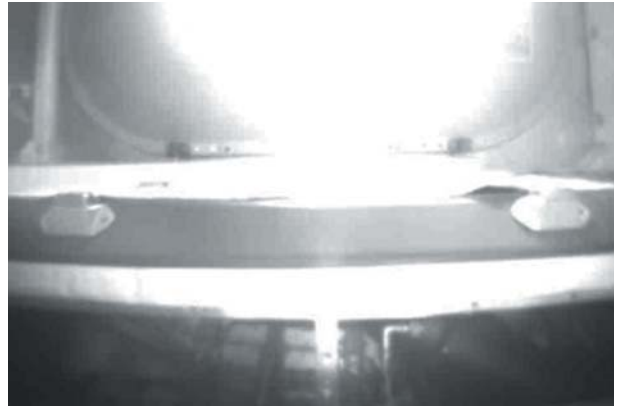
“目玉”の別名を持つ直径40cmの球体が、今まさにミッションを終えようとしている「こうのとり」3号機の貴重な画像を届けてくれました。「i-Ball」は、大気圏の再突入時にカメラやGPS受信機、加速度計などで取得されたデータを、ヒートシールドとパラシュートで着水させ、フローテーションバッグで海上に浮かせて、衛星電話のデータ通信機能を使い日本に伝送するという日本初の試みです。

「2010年6月の『はやぶさ』の再突入の映像を見て、あのカプセルにカメラが付いていれば、貴重なデータが取れるのでは、というアイデアが出され、社内検討が始まりました」(株式会社IHIエアロスペース・宇宙技術部宇宙機システム室主幹・杉村文隆さん)

「i-Ball」は他の補給物資とともに「こうのとり」の与圧室に搭載されます。そこには当然、宇宙飛行士も出入りします。一方、ヒートシールドやパラシュートの分離機構は、火薬やガスを使うため、ある意味で危険物。「はやぶさ」カプセルや宇宙実験機器を手がけてきた同社のノウハウが生かされて安全審査もクリア、無事「こうのとり」3号機への搭乗チケットが入手できました。

ISSから分離直前、星出宇宙飛行士の手でスイッチが入れられた「i-Ball」は、再突入時のGで目覚め、機体破壊中の機内の様子をUSBカメラで撮影しました。破壊後は機外に放り出され、後方カメラで白熱する機体の一部を捉えました。そしてこれらの画像を含む総計約1.7MBのデータを、南太平洋上から北海道・大樹町で待機していたチームに宛てて、3サイクルにわたって送信し、その後通信は途絶えたといいます。

より安全でより精度の高い再突入制御は、スペースデブリの削減や往還機・有人機の運用に不可欠の技術となります。「i-Ball」のデータ取得の成功は、今後の技術開発に向けた意義ある一歩となりました。

「i-Ball」開発に携わった杉村さんが持っているのは原寸模型。表面がオレンジ色のフィルムで覆われているのは、ヒートシールド素材の粉末が「こうのとり」内に飛散するのを避けるため

上:与圧部内カメラで撮影した船内ハッチ付近の様子(高度約80km付近)
中央・下:カプセル後方カメラで撮影した「こうのとり」の一部(高度約70km地点)
画像:JAXA/IHIエアロスペース

広報部 〒100-8260 東京都千代田区丸の内1-6-5
丸の内北口ビルディング3階
TEL:03-6266-6400 FAX:03-6266-6910

JAXAウェブサイト http://www.jaxa.jp/
メールサービス http://www.jaxa.jp/pr/mail/
JAXA's配送サービス http://www.jaxas.jp/